农牧交错区三生空间时空演变特征与影响因素
——以内蒙古呼和浩特市为例

党 慧， 荣丽华， 李伊彤， 赵名君

（内蒙古工业大学建筑学院，内蒙古 呼和浩特 010000）

摘 要：农牧交错区是我国北方重要生态安全屏障及粮食产地，探索其“三生”空间演变规律与影响因素对生态脆弱区国土空间优化及可持续发展具有重要意义。本文运用土地利用动态度、用地转移矩阵、地理探测器等方法研究2000—2020年内蒙古典型农牧交错区呼和浩特市“三生”空间演变特征及影响因素。结果表明：(1) 研究期内呼和浩特市“三生”空间整体动态变化平缓(0.02%~0.04%)，生态、农业生产、牧业生产空间趋减，生活、其他生产空间增加。(2) 2000—2020年呼和浩特市“三生”空间格局变化显著，主要表现为城区外围生活空间侵占农牧业生产空间，土默川平原及北部、东南部丘陵地区农业生产、牧业生产、生态空间相互转换；(3) 研究区生态、农业生产、牧业生产空间在前10 a相互转化剧烈，2010—2020年有所减缓；生活、其他生产空间呈净转入状态并在后10 a突增。(4) 平均坡度是影响农牧业生产空间布局的主导因素(0.24~0.4)，产业发展、人类活动和农业生产规模对当地空间格局影响较大，精细化治理背景下，政策引导的作用日益突出。

关键词：三生空间；时空演变；影响因素；农牧交错区；呼和浩特市；内蒙古

1978年以来，城镇化、工业化进程迅速推进，我国城镇化率从17.6%上升至2022年的64.72%[1]。城市人口膨胀加剧了国土资源开发利用进程,人类对土地功能需求日趋多元，致使生产、生活、生态空间在有限的国土面积内冲突激烈[2-3]，空间功能失调严重桎梏了城乡高质量发展[4]。研究“三生”空间演变特征及影响因素有利于深入认识土地利用发展机制，对构建“三生”协同发展格局、完善国土空间治理体系具有重要意义。

“三生”空间是人类开展生产生活活动和生态文明建设的重要载体，“生产-生活-生态”三类空间以主体功能为导向，共生融合，相互制约。当前，相关研究主要集中于概念界定与要素识别[5-6]、功能测度与耦合关系[7-8]、演变特征及影响因素[9-10]、空间优化及发展策略[11]等方面。格局演化作为人地关系互动的重要表征日益受到关注，逐步形成了“分类体系-演化特征-影响因素/优化策略”的研究思路[12-15]；部分学者基于研究对象空间功能复合、用地异质等特性，运用指标量化测度、土地利用归并、功能分级赋分等方法构建“三生”空间分类体系，为后续研究提供支持[12]，并将“三生”空间演变与生态环境效应[10]、影响因素、优化策略[15]等方向结合进行深入研究；有学者运用主成分分析、RDA分析、地理探测器等方法探析自然、社会经济因素对不同尺度研究区“三生”空间演变的影响[9,13-14]。总体来讲，现有研究成果涵盖全国、城市群、省市县、乡镇、特色地带等尺度，对生境脆弱、空间异质性显著的农牧交错区关注较少；研究者大多基于地类主导功能探究“生产-生活-生态”三类空间相互转化关系，缺乏对特定地域某类空间的针对性分类与深入研究。

农牧交错区是牧区与农区接壤的生态脆弱带，农牧业空间交错、生产交替，是人地关系研究的重点关注对象[11]。随着社会经济发展和生态保护政策的实施，呼和浩特等农牧交错地区各要素不断重组，人地关系紧张，“三生”用地间博弈激烈[16]，土地沙化、草场退化现象频发，了解其空间演化规律与

收稿日期：2023-03-27； **修订日期**：2023-06-15
基金项目：内蒙古自治区自然科学基金(2023MS05012)；内蒙古自治区重点研发课题(2023YFSW0002)
作者简介：党慧(1998-)，女，硕士研究生，主要从事草原牧区人居环境相关研究. E-mail: 1599003878@qq.com
通讯作者：荣丽华. E-mail: 2797864545@qq.com

驱动机制是该地区实现社会-经济-生态可持续发展的重要命题。鉴于此,本文以呼和浩特市为例,构建符合农牧交错区发展特色的"三生"空间分类体系,运用动态度模型、转移矩阵、地理探测器等方法探寻内蒙古农牧交错区"三生"空间演变特征及影响因素,以期丰富空间异质性显著地区土地利用研究,为当地"三生"空间优化策略提供依据与引导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

呼和浩特市地处我国北方农牧交错带中段,市域总面积1.72×10^4 km^2,下辖4个市辖区、1个开发区、4县和1旗,年平均降水量335.2~534.6 mm。2022年全市总人口达355.11×10^4人,地区生产总值3329.1×10^8元。境内呈现"一山一原两丘陵"的地貌特征,中北部大青山、中部土默川平原、北部、东南部丘陵交错分布,奠定了该地区农牧结合的产业发展基底,但长期"重农轻牧、重生产轻生态"使当地成为典型的风蚀化荒漠区与生境脆弱区[17],研究其"三生"空间演化特征与驱动因素具有典型性。

1.2 数据来源

呼和浩特市2000—2020年"三生"用地分类数据来自中国科学院资源环境科学与数据共享平台,该数据主要基于Landsat 8遥感影像解译生成(分辨率30 m)[18],采用中国科学院土地资源分类系统标准分类。自然因子中的高程、坡度、坡向数据获取自地理空间数据云;降水、气温数据源自中国气象要素年度空间插值数据集;社会经济因子获自《呼和浩特市统计年鉴(2000—2020年)》。

1.3 研究方法

1.3.1 "三生"空间分类体系构建及评分 "三生"空间分类体系构建是空间演化分析的基础。本文聚焦于研究区农牧混合的空间异质性及农牧结构失衡的现状发展问题[19],在基于主导功能划定"生产-生活-生态"三类空间的基础上[20],参考邹利林等[21]、刘平辉等[22]依据产业特色划分生产空间的思路,将生产空间进一步划分为农业、牧业、其他生产空间(林业、渔业、二产、三产)三类,深入探索农牧业用地内在演化关系。同时,考虑到空间功能复合性,参考刘继来等[23]、王世清等[16]、翟羽娟等[24]对"三生"用地功能主次强弱划分和已有研究对农牧交错区"三生"空间评分结果,采取0~5六级赋分原则描述各类空间功能主次强弱,构建农牧交错区"三生"空间与用地分类体系衔接表(表1),为后续"三生"空间功能评分变化及高值区格局分析提供基础。其中,耕地以农业生产为主体功能,在冬季可作为临时草场,具有弱牧业生产用地性质,同时,又发挥着半生态作用;林地以生态功能为主,具有弱生产功能,其他林地具有弱农业生产用地及弱牧业生产用地性质;草地以生态功能为主,兼具牧业生产用地性质,结合植被覆盖度对不同类型草地赋值。

1.3.2 土地利用动态度 动态度模型可定量表征空间动态变化速率与剧烈程度[25]。采用单一动态度描述呼和浩特市各类"三生"空间变化情况。公式如下:

$$D=\frac{S_b-S_a}{S_a}\times\frac{1}{b-a}\times100\% \tag{1}$$

式中:D为某类空间动态度;a、b为研究时期;S_a、S_b分别为a、b时期某类空间面积。

采用综合动态度描述呼和浩特市"三生"空间整体变化剧烈程度。公式如下:

$$DC=\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta LS_{i-j}}{2\sum_{i=1}^{n}LS_i}\times\frac{1}{b-a}\times100\% \tag{2}$$

式中:DC为综合动态度;a、b为研究时期;ΔLS_{i-j}表示空间i转为空间j的绝对面积;LS_i为a时期空间i的面积;$b-a$为研究时段。

1.3.3 用地转移矩阵 用地转移矩阵可定量表征"三生"空间变化特征及转移方向[25]。采用地图代数工具获取相应时段内"三生"空间相互转移情况。表达式如下:

$$P_{ij}=\begin{Bmatrix}P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n}\\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn}\end{Bmatrix} \tag{3}$$

式中:P_{ij}表示空间i转为空间j的面积;n表示"三生"空间类型数。

1.3.4 地理探测器 地理探测器是分析研究对象空间分层异质性,并用q值[0,1]度量驱动因素对其空间分异影响力的统计学工具,解释力随q值增大而增强[26]。本文选取分异及因子探测器分析自然及社会经济因子X对研究区各类"三生"空间面积变化

表1 农牧交错区“三生”空间分类及评分体系

Tab. 1 Classification and scoring system of ecology-living-production spaces in agro-pastoral ecotone

一级类		二级类		生产空间			生活空间	生态空间
编码	名称	编码	名称	农业生产空间	牧业生产空间	其他生产空间		
1	耕地	11	水田	5	1	0	0	3
		12	旱地	5	1	0	0	1
2	林地	21	有林地	0	0	1	0	5
		22	灌木丛	0	0	0	0	3
		23	疏林地	0	0	0	0	4
		24	其他林地	1	1	0	0	4
3	草地	31	高覆盖度草地	0	3	0	0	5
		32	中覆盖度草地	0	2	0	0	4
		33	低覆盖度草地	0	1	0	0	3
4	水域	41	河渠	0	0	0	0	3
		42	湖泊	0	0	0	0	5
		43	水库坑塘	0	0	1	0	3
		46	滩地	0	0	0	0	2
5	建设用地	51	城镇用地	0	0	0	5	0
		52	农村居民点	0	0	0	5	0
		53	其他建设用地	0	0	3	1	0
6	未利用地	61	沙地	0	0	0	0	1
		62	戈壁	0	0	0	0	1
		63	盐碱地	0	0	0	0	2
		64	沼泽地	0	0	0	0	4
		65	裸土地	0	0	0	0	1
		66	裸岩石砾地	0	0	0	0	0

注:评分采用0~5六级赋分,参考文献[16, 23-24]。

Y的驱动作用。表达式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^{L} N_h \sigma_h^2}{N\sigma^2} \quad (4)$$

式中:L为社会经济因子X的分区;N_h,N为区和全域的单元数;δ_h^2,δ^2为区h和全域Y值的方差。

2 结果与分析

2.1 “三生”空间演化特征

2.1.1 动态演变特征 20 a间“三生”空间综合变化幅度较平缓,大多在0.02%~0.04%波动,2010—2015年综合动态变化最剧烈且远高于其他时期(0.08%),主要由生活空间、其他生产空间突增引起。研究期内,生态、农业生产、牧业生产空间呈缩减态势,单一动态度多为负,功能评分总值分别降低了1.2%、3.6%和1.4%;生活、其他生产空间呈扩张态势,单一动态度多为正,功能评分总值分别增加了31.5%和76.4%。2005—2010年,农业生产空间(0.06%)、牧业生产空间(0.10%)单一动态度为正,其他生产空间(-0.15%)、生态空间(-0.01%)单一动态度为负,表明该时段用地粗放,滥垦过牧形势严峻。2010—2015年,城市人口激增,生活空间(1.27%)、其他生产空间(0.78%)出现扩张高峰,单一动态度达历时段最大,不断挤占生态空间及农牧业生产空间(表2)。

2.1.2 空间格局演变特征 将表1“三生”空间分类及评分结果进行重分类与可视化表达,得出呼和浩特市2000年与2020年“三生”空间格局分布图(图1),并运用自然断点分级法,以保持、缩减、扩张描述呼和浩特市“三生”空间演化特征(图2)。

呼和浩特市“三生”空间因地就势布局。农业生产空间高值区主要集中于地势平坦、水文地质条件优良的土默川平原及武川县北部丘陵地区(图1a);牧业生产空间高值区集中于武川县与南部丘陵区(图1b);20 a间,随着社会经济快速发展,厂矿、大

表2　呼和浩特市“三生”空间动态变化

Tab. 2　The dynamics of ecology-living-production spaces in Hohhot

时段	单一动态度/%					综合动态度/%
	农业生产空间	牧业生产空间	其他生产空间	生活空间	生态空间	
2000—2005年	−0.07	−0.08	0.59	0.34	−0.02	0.04
2005—2010年	0.06	0.10	−0.15	0.17	−0.01	0.03
2010—2015年	−0.16	−0.10	0.78	1.27	−0.08	0.08
2015—2020年	−0.03	−0.04	0.23	0.32	−0.02	0.02
2000—2020年	−0.20	−0.11	1.56	2.37	−0.14	0.11

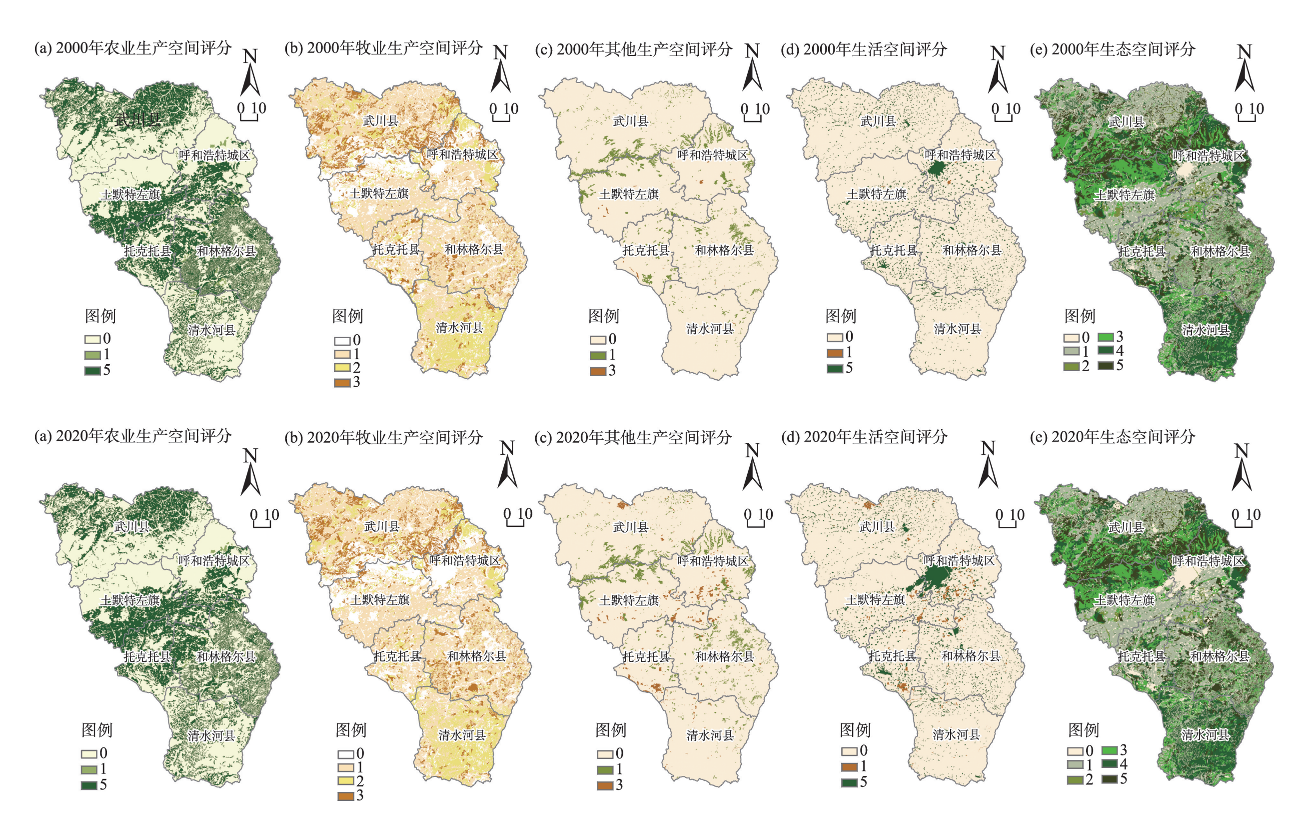


图1　2000—2020年呼和浩特市“三生”空间评分及格局分布

Fig. 1　The spatial score and layout of ecology-living-production spaces in Hohhot from 2000 to 2020

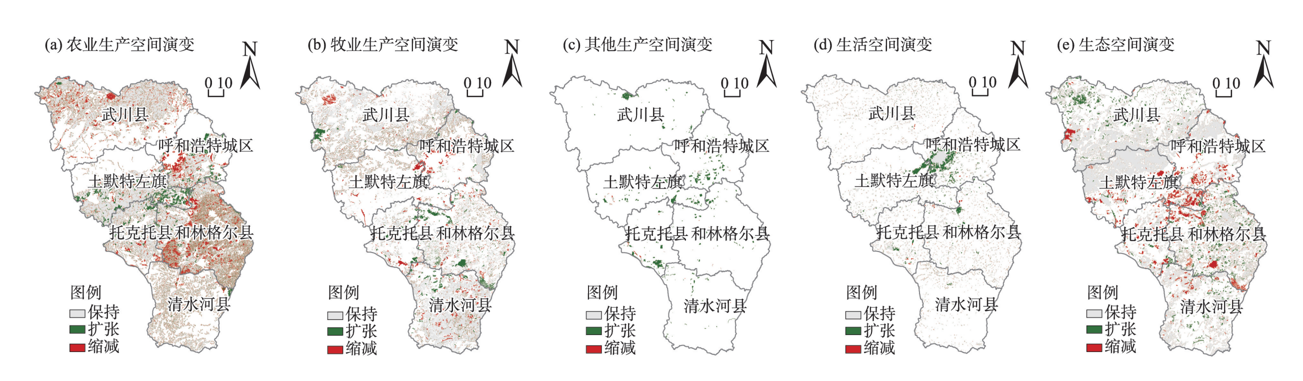


图2　2000—2020年呼和浩特市“三生空间”演化

Fig. 2　The evolution of ecology-living-production spaces in Hohhot from 2000 to 2020

型工业区等其他生产空间高值区在城区南部及土默特左旗南部呈散点状分布并逐步扩张(图1c)；生活空间呈现出“大集聚、小分散”的布局特征，呼和浩特城区呈高度聚集大斑块，县城有一定集聚效

应,乡镇及自然村零散布局(图1d);生态空间高值区主要集中于大青山沿线及东南部蛮汉山丘陵,是土默川平原重要的生态安全屏障(图1e)。

20 a间研究区"三生"空间格局变化显著。主要表现为退耕还林政策引导下武川县、和林格尔县丘陵地区农牧业生产空间转为生态空间;快速城镇化推动下呼和浩特城区周边生活空间侵占农牧业生产空间;土地开荒与改良项目驱动下土默川平原地区滩地、盐碱地等低评分生态空间转为农业生产空间、其他生产空间(以其他建设用地为主);过度放牧及水土流失影响下和林格尔县南部林地退化为牧草地,牧业生产功能增强,生态功能减弱(图2)。

2.1.3 用地转移特征 转移矩阵结果表明(表3),2000—2010年,生态空间、农牧业生产空间相互转移剧烈。生态空间主要转出为农业生产空间(269.96 km^2)和牧业生产空间(279.40 km^2);农牧业生产空间相互转化面积分别为279.52 km^2、184.65 km^2;生活空间、其他生产空间呈净转入状态,分别转入88.92 km^2、17.85 km^2。说明该时段生态空间遭到挤压,耕地与草地矛盾突出,土地资源浪费严重。

对比2000—2010年和2010—2020年两个时段转移矩阵可知(表3),2010—2020年,生态空间、农牧业生产空间相互转化较前10 a有所减缓;生活空间、其他生产空间净转入面积大幅增加,分别增加至原来的2倍和11倍。说明2010年后生活空间、其他生产空间迅速扩张,人地矛盾日益加剧。

2.2 影响因素分析

农牧交错区是多要素复合的过渡区,其空间格局受自然、社会经济、政策等因素综合作用[27]。本文运用因子探测工具定量分析自然及社会经济因子对研究区"三生"空间格局演变的影响,参考已有研究成果[27-29],选取2000—2020年呼和浩特市各区县平均坡度(X_1)、坡向(X_2)、平均高程(X_3)、年降雨量(X_4)、年平均气温(X_5)5项自然因子和人口密度(X_6)、城镇化率(X_7)、人均GDP(X_8)、农牧民人均可支配收入(X_9)、第一(X_{10})、第二(X_{11})、第三(X_{12})产业产值、农林牧渔业总产值(X_{13})、粮食总产量(X_{14})和当年肉类总产量(X_{15})10项社会经济因子作为自变量,以呼和浩特市不同时期"三生"空间面积作为因变量进行探测,结果均通过显著性检验($P<0.05$);定性分析难以量化的政策因素。

2.2.1 自然因素 因子探测结果表明(表4),自然因子对牧业生产空间影响最显著,对生态空间影响程度相对较低。平均坡度、年降雨量决定了地形复杂程度及对地上生物的滋养水平,是影响农业生产空间、牧业生产空间、生活空间演变的高位自然因素,其中,平均坡度对牧业生产空间解释力最大(0.24~0.4);年平均气温对各类空间的解释力均较弱($q<0.1$)。从时间动态来看,20 a间随着空间选址和用地结构的相对稳定,自然因素对研究区"三生"空间格局的解释力有所减弱。

2.2.2 社会经济因素 因子探测结果表明(图3),相较于自然因子,社会经济因子对研究区"三生"空间演变影响更显著。农林牧渔业总产值、第一产业产值和城镇化率是农业生产空间演变的主导因素;第二产业产值、粮食总产量和人均GDP是牧业生产空

表3 2000—2020年呼和浩特市"三生"空间转化

Tab. 3 The spatial transformation of ecology-living-production spaces in Hohhot from 2000 to 2020

时段	类别	转移面积/km^2					
		牧业生产空间	农业生产空间	其他生产空间	生活空间	生态空间	转出总计
2000—2010年	牧业生产空间	–	279.52	7.60	38.40	147.11	472.63
	农业生产空间	184.65	–	2.21	40.00	316.01	542.87
	其他生产空间	0.94	0.16	–	0.02	2.42	3.54
	生活空间	3.44	9.33	0.02	–	3.55	16.34
	生态空间	279.40	269.96	11.56	26.84	–	587.76
	转入总计	468.43	558.97	21.39	105.26	469.09	–
2010—2020年	牧业生产空间	–	129.36	27.24	61.38	114.66	332.64
	农业生产空间	154.42	–	96.18	126.80	141.22	518.62
	其他生产空间	0.93	0.37	–	0.75	3.12	5.17
	生活空间	12.88	34.95	13.61	–	24.21	85.65
	生态空间	98.92	109.17	69.65	59.76	–	337.5
	转入总计	267.15	273.85	206.68	248.69	283.21	–

表4　2000—2020年自然因子探测器q值结果

Tab. 4　Results of q value of natural factor detector from 2000 to 2020

空间类型	不同年份自然因子的q值														
	2000年					2010年					2020年				
农业生产空间	X_1 (0.14)	X_2 (0.10)	X_3 (0.05)	X_4 (0.08)	X_5 (0.06)	X_1 (0.13)	X_2 (0.05)	X_3 (0.09)	X_4 (0.06)	X_5 (0.07)	X_1 (0.12)	X_2 (0.05)	X_3 (0.07)	X_4 (0.04)	X_5 (0.06)
牧业生产空间	X_1 (0.24)	X_2 (0.12)	X_3 (0.08)	X_4 (0.20)	X_5 (0.03)	X_1 (0.40)	X_2 (0.10)	X_3 (0.17)	X_4 (0.10)	X_5 (0.06)	X_1 (0.27)	X_2 (0.09)	X_3 (0.16)	X_4 (0.04)	X_5 (0.04)
其他生产空间	X_1 (0.08)	X_2 (0.05)	X_3 (0.13)	X_4 (0.12)	X_5 (0.06)	X_1 (0.03)	X_2 (0.07)	X_3 (0.09)	X_4 (0.11)	X_5 (0.08)	X_1 (0.06)	X_2 (0.15)	X_3 (0.08)	X_4 (0.07)	X_5 (0.04)
生活空间	X_1 (0.06)	X_2 (0.03)	X_3 (0.04)	X_4 (0.04)	X_5 (0.05)	X_1 (0.08)	X_2 (0.04)	X_3 (0.05)	X_4 (0.08)	X_5 (0.06)	X_1 (0.08)	X_2 (0.05)	X_3 (0.06)	X_4 (0.12)	X_5 (0.08)
生态空间	X_1 (0.04)	X_2 (0.06)	X_3 (0.09)	X_4 (0.06)	X_5 (0.01)	X_1 (0.05)	X_2 (0.08)	X_3 (0.06)	X_4 (0.08)	X_5 (0.03)	X_1 (0.06)	X_2 (0.08)	X_3 (0.07)	X_4 (0.03)	X_5 (0.04)

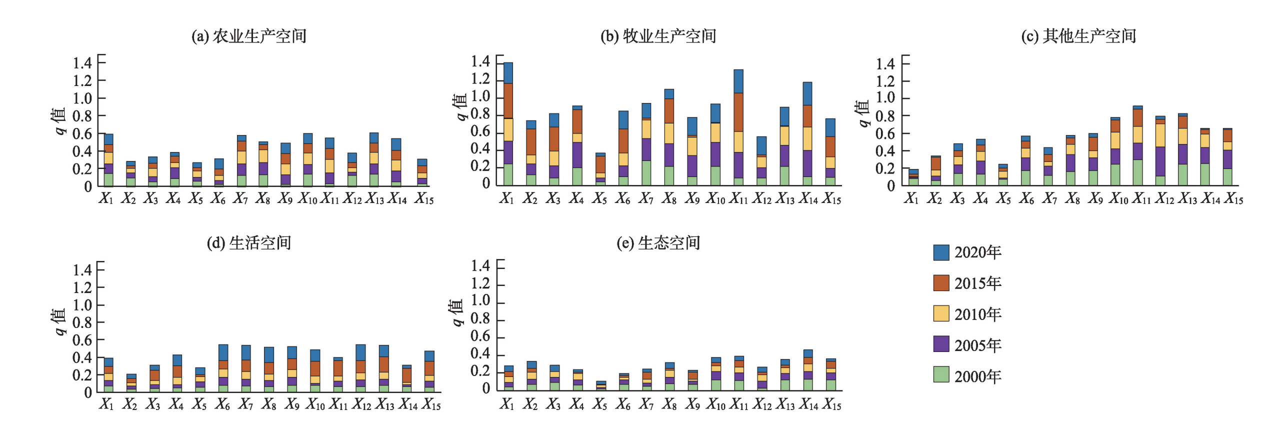


图3　不同时期因子探测器q值结果

Fig. 3　q results of factor detectors for different periods

间演变的主导因素;第二产业产值、农林牧渔业总产值和第一产业产值是其他生产空间演变的主导因素;人口密度、第三产业产值和城镇化率是生活空间演变的主导因素;粮食总产量、第二产业产值和第一产业产值是生态空间演变的主导因素。综上所述,各类空间演变主导因素不同,但第一、第二产业产值、城镇化率、农林牧渔业总产值和粮食总产量等因子对农牧交错区"三生"空间演变的解释度较强,说明产业发展、人类活动和农业生产规模对该地区空间分布模式影响较大,其中,农业生产规模对牧业生产空间及生态空间影响显著。从时间动态来看,20 a间社会经济因素对生活空间的解释力逐渐增强,对其余空间的解释力有所减弱。

2.2.3　政策因素　内蒙古在我国"两屏三障"生态安全格局中地位突出,是生态文明建设的重要领地。2002年以来,为恢复生态环境,我国全力推进"退耕还林"、"退牧还草"政策,武川县北部、和林格尔县等地生态空间恢复初具成效。十三五时期,自治区农牧业厅提出在呼和浩特市5个农牧交错旗县实施粮草轮作、退耕还草政策,推动了研究区农牧业生产空间交替转换。随着高质量发展理念的进一步落实,基本农田保护日益受到重视,盐碱地改良等项目的实施推动了土默川平原地区农业生产空间恢复。而城镇化、西部大开发战略的实施则增强了城区吸引力,大量人口涌入市区,在《呼和浩特市城市总体规划(2011—2020年)》的引导下,城区逐步形成了"东优南扩西联北控"的发展格局,致使外围农牧业生产空间被生活空间替代。综上所述,政策对农牧交错地区"三生"空间演变引导作用显著。

3　讨　论

以呼和浩特市为例探索内蒙古农牧交错区"三生"空间演变特征及影响因素。与已有研究相比[16,24,30],本文综合考虑该区农牧复合现状及发展

问题,将生产空间进一步细化为农业、牧业、其他生产空间,深入分析农牧业生产用地内在演化关系,拓宽相关研究视角。选取粮食总产量、当年肉类总产量等影响因子表征农牧业生产规模,提升影响因子针对性。

研究发现,20 a间呼和浩特城区生活空间扩张显著,县城生活空间斑块增长较缓,集聚效应仍待增强;农业生产、牧业生产空间和生态空间持续减少且相互转换频繁,保护与发展矛盾突出[9]。基于此,呼和浩特市应增强城区辐射带动作用,向各旗县输送人才,盘活城区及各旗县闲置用地,提升生活空间、其他生产空间土地使用效益;土默川平原及丘陵地区应分级分类精细化治理,在农牧业生产空间转换频繁的区域建立粮草耦合生产单元,大力发展饲草产业,粮草轮作,助力"草-畜-粮"可持续发展;在进行土地开荒、改良、退耕还草的区域建立缓冲单元,巩固已有生态保护成果,防止土地退化。

在影响因素方面,"三生"空间演变受自然、社会经济、政策因素综合影响,与已有研究结果相似[27]。值得注意的是,社会经济因子中的农业生产规模对牧业生产空间及生态空间影响显著,这既是对已有研究成果的重要补充,也启示规划管理者在进行农牧交错地区"三生"空间优化管理时,综合考虑各项活动交叉作用。后续研究可采用多种影响因素分析方法,探寻因子影响的正负效应及各因素交互作用,模拟不同因素主导下"三生"空间发展趋势,并提出对应优化策略。

4 结 论

本文运用土地利用动态度模型、用地转移矩阵、地理探测器模型综合分析内蒙古农牧交错区呼和浩特市"三生"空间演变特征及影响因素,主要结论如下:

(1) 2000—2020年,呼和浩特市"三生"空间整体动态变化较平缓(0.02%~0.04%),生态、农牧业生产空间趋减,生活、其他生产空间增加;前10 a,生态、农业生产、牧业生产空间相互转化剧烈,生态空间转出面积最大,耕地牧草地矛盾突出;后10 a,生活、其他生产空间突增,对其他空间的侵占越来越严重,人地关系紧张。

(2) 2000—2020年,呼和浩特市"三生"空间格局变化显著,主要集中于呼和浩特城区、土默川平原及北部、东南部丘陵地区。城区生活空间呈"东优南扩西联北控"急速扩张,后续发展应盘活闲置用地,增强对各旗县的辐射带动作用;土默川平原及丘陵地区应依据空间演化特点分级分类精细化治理,一方面探索"草-畜-粮"耦合的可持续发展模式,另一方面巩固现有生态保护成果。

(3) 平均坡度是农业、牧业生产空间布局的主导自然因素;社会经济因素中,产业发展、人类活动、农业生产规模处于解释力高位,农业生产规模对牧业生产空间和生态空间影响显著;20 a间,除生活空间外,自然、社会经济因素对研究区"三生"空间格局变化解释力有所减弱;高质量发展背景下,政策引导对"三生"空间协调发展影响日益突出。

参考文献(References):

[1] Bai X M, Shi P J, Liu Y S. Realizing China's urban dream[J]. Nature, 2014, 509(7499): 158–160.

[2] 王亚飞, 樊杰, 周侃. 基于"双评价"集成的国土空间地域功能优化分区[J]. 地理研究, 2019, 38(10): 2415–2429. [Wang Yafei, Fan Jie, Zhou Kan. Territorial function optimization regionalization based on the integration of "Double Evaluation"[J]. Geographical Research, 2019, 38(10): 2415–2429.]

[3] Cilliers S, Cilliers J, Lubbe R, et al. Ecosystem services of urban green spaces in African countries-perspectives and challenges[J]. Urban Ecosystem, 2013, 16(4): 681–702.

[4] 范树平, 程从坤, 刘友兆, 等. 中国土地利用/土地覆盖研究综述与展望[J]. 地域研究与开发, 2017, 36(2): 94–101. [Fan Shuping, Cheng Congkun, Liu Youzhao, et al. Review and prospect on land use/cover research in China[J]. Areal Research and Development, 2017, 36(2): 94–101.]

[5] 江曼琦, 刘勇. "三生"空间内涵与空间范围的辨析[J]. 城市发展研究, 2020, 27(4): 43–48, 61. [Jiang Manqi, Liu Yong. Discussion on the concept definition and spatial boundary classification of "production-living-ecological" space[J]. Urban Development Studies, 2020, 27(4): 43–48, 61.]

[6] 隋虹均, 宋戈, 张红梅. 松嫩平原北部粮食主产区克山县三生空间识别[J]. 农业工程学报, 2020, 36(19): 264–271, 323. [Sui Hongjun, Song Ge, Zhang Hongmei. ldentification of production-living-ecological space at Keshan County level in main grain producing areas in northern Songnen Plain, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(19): 264–271, 323.]

[7] 方创琳, 贾克敬, 李广东, 等. 市县土地生态-生产-生活承载力测度指标体系及核算模型解析[J]. 生态学报, 2017, 37(15): 5198–5209. [Fang Chuanglin, Jia Kejing, Li Guangdong, et al. Theoretical analysis of the index system and calculation model of carrying capacity of land ecological-production-living spaces from

county scale[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(15): 5198-5209.]

[8] 刘顺鑫, 黄云. “三生空间”视角下万州区景观生态安全评价及其耦合特征分析[J]. 水土保持研究, 2020, 27(6): 308-316. [Liu Shunxin, Huang Yun. Evaluation and coupling coordination analysis of landscape ecological security of Wanzhou district from the perspective of production-life-ecological space[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(6): 308-316.]

[9] 谢晓彤, 李效顺. 河南省“三生”功能时空演变特征及影响因素[J]. 农业工程学报, 2021, 37(22): 243-252. [Xie Xiaotong, Li Xiaoshun. Spatio-temporal evolution characteristics and influencing factors of “production-living-ecological” functions in Henan Province, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(22): 243-252.]

[10] 孔冬艳, 陈会广, 吴孔森. 中国“三生空间”演变特征、生态环境效应及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1116-1135. [Kong Dongyan, Chen Huiguang, Wu Kongsen. The evolution of “production-living-ecological” space eco-environmental effects and its influencing factors in China[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(5): 1116-1135.]

[11] 席建超, 王首琨, 张瑞英. 旅游乡村聚落“生产-生活-生态”空间重构与优化——河北野三坡旅游区苟各庄村的案例实证[J]. 自然资源学报, 2016, 31(3): 425-435. [Xi Jianchao, Wang Shoukun, Zhang Ruiying. Restructuring and optimizing production-living-ecology space in rural settlements: A case study of Gougezhuang village at Yesanpo tourism attraction in Hebei Province[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(3): 425-435.]

[12] 张扬, 陈雨露, 张杨, 等. 成渝城市群“三生空间”时空格局与耦合协调分析[J]. 地域研究与开发, 2022, 41(5): 119-125. [Zhang Yang, Chen Yulu, Zhang Yang, et al. Coulpling coordination and spatio-temporal pattern analysis of the “production-living-ecological” space in Chengdu-Chongqing urban agglomeration[J]. Areal Research and Development, 2022, 41(5): 119-125.]

[13] 焦庚英, 杨效忠, 黄志强, 等. 县域“三生空间”格局与功能演变特征及可能影响因素分析——以江西婺源县为例[J]. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1252-1267. [Jiao Gengying, Yang Xiaozhong, Huang Zhiqiang, et al. Evolution characteristics and possible impact factors for the changing pattern anofunction of “production-living-ecological” space in Wuyuan County[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(5): 1252-1267.]

[14] 陈晓红, 许晓庆, 刘艳军, 等. 基于三生空间质量的哈长城市群城市脆弱性时空演变格局及驱动力研究[J]. 生态学报, 2022, 42(15): 6395-6405. [Chen Xiaohong, Xu Xiaoqing, Liu Yanjun, et al. Patterns and driving forces of the temporal-spatial evolution of urban vulnerabilityin Harbin-Changchun urban agglomeration based on the production-livingecological spatial quality[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(15): 6395-6405.]

[15] 吴清, 冯嘉晓, 陈刚, 等. 山岳型乡村旅游地“三生”空间演变及优化——德庆金林水乡的案例实证[J]. 生态学报, 2020, 40(16): 5560-5570. [Wu Qing, Feng Jiaxiao, Chen Gang, et al. The spatial evolution and optimization of “production-living-ecology” space inmountainous rural tourism destinations: A case study of Jinlin watery area in Deqing County, Guangdong Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(16): 5560-5570.]

[16] 王世清, 冀正欣, 许月卿, 等. 农牧交错区“三生”用地格局演变及其生态环境效应——以冀北山区张北县为例[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(7): 161-171. [Wang Shiqing, Ji Zhengxin, Xu Yueqing, et al. Evolution of “production-living-ecological” land use pattern and its eco-environment effects in counties of agropastoral ecotern: A case study of Zhangbei county[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(7): 161-171.]

[17] 付东升, 任晓萌, 王燕玲, 等. 农牧交错带不同利用方式土壤粒径分布特征——以呼和浩特市武川县为例[J]. 干旱区研究, 2022, 39(4): 1322-1332 [Fu Dongsheng, Ren Xiaomeng, Wang Yanling, et al. Distribution characteristics of soil particle size in farming-pastoral ecotone: A case study of Wuchuan County in Inner Mongolia[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(4): 1322-1332.]

[18] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1411-1420. [Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, Xu Xinliang, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(12): 1411-1420.]

[19] 扈万泰, 王力国, 舒沐晖. 城乡规划编制中的“三生空间”划定思考[J]. 城市规划, 2016, 40(5): 21-26, 53. [Hu Wantai, Wang Liguo, Shu Muhui. Reflections on delimitine the three basic spaces in the compilation of urban and rural plans[J]. City Planning Review, 2016, 40(5): 21-26, 53.]

[20] 黄金川, 林浩曦, 漆潇潇. 面向国土空间优化的三生空间研究进展[J]. 地理科学进展, 2017, 36(3): 378-391. [Huang Jinchuan, Lin Haoxi, Qi Xiaoxiao. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space[J]. Progress in Geography, 2017, 36(3): 378-391.]

[21] 邹利林, 王建英, 胡学东. 中国县级“三生用地”分类体系的理论构建与实证分析[J]. 中国土地科学, 2018, 32(4): 59-66. [Zou Lilin, Wang Jianying, Hu Xuedong. An classification systems of production-living-ecological land on the county level: Theory building and empirical research[J]. China Land Science, 2018, 32(4): 59-66.]

[22] 刘平辉, 郝晋珉. 土地利用分类系统的新模式——依据土地利用的产业结构而进行划分的探讨[J]. 中国土地科学, 2003(1): 16-26. [Liu Pinghui, Hao Jinmin. New model on the land use classification system-classification study based on land use industry structure[J]. China Land Science, 2003(1): 16-26.]

[23] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304. [Liu Jilai, Liu Yansui, Li Yurui. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of “production-living-ecological” spaces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(7): 1290-1304.]

[24] 翟羽娟, 张艳红, 姜琦刚, 等. 吉林省西部农牧交错区“三生空间”时空演变[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2022, 52(3): 1016-1026. [Zhai Yujuan, Zhang Yanhong, Jiang Qigang, et al. Spatial-temporal evolution pattern of “production-living-ecological space in agro-pastoral ecotone of western Jilin Province[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2022, 52(3): 1016-1026.]

[25] 鲁春阳, 罗奇, 陈照永. 土地利用动态变化的模型分析[J]. 喀什师范学院学报, 2006(6): 25−28. [Lu Chunyang, Luo Qi, Chen Zhaoyong. Analysis on the mathematic model of land use changes [J]. Journal of Kashi University, 2006(6): 25−28.]

[26] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116−134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116−134.]

[27] 石晓丽, 史文娇. 北方农牧交错带界线的变迁及其驱动力研究进展[J]. 农业工程学报, 2018, 34(20): 1−11. [Shi Xiaoli, Shi Wenjiao. Review on boundary shift of farming-pastoral ecotone in northern China and its driving forces[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(20): 1−11.]

[28] 王柱莲, 王平, 支林蛟. 环滇池地区2000—2020年"三生"空间格局演变及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 265−273, 281. [Wang Zhulian, Wang Ping, Zhi Linjiao. Evolution and driving forces of ecological-productive-living space pattern in Dianchi Lake area during 2000−2020[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 265−273, 281.]

[29] 盛艳. 呼和浩特市土地利用时空变化特征及驱动因素分析[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2004(3): 313−316. [Sheng Yan. Characteristics of the timing and spatial change and analysis on driving factors in land use of Hohhot[J]. Journal of Inner Mongolia Normal University (Natural Science Edition), 2004 (3): 313−316.]

[30] 秦彦杰, 武爱彬, 赵艳霞, 等. 农牧交错带生态与生产用地时空转换及其驱动因素分析——以张家口坝上地区为例[J]. 干旱区研究, 2023, 40(5): 798−807. [Qin Yanjie, Wu Aibin, Zhao Yanxia, et al. Analysis of the spatiotemporal conversion between ecological land andproduction land in the farming-pastoral ecotone and the forces driving it: A case study in the Bashang region of Zhangjiakou[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(5): 798−807.]

Spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of production-living-ecological spaces in the farming-pastoral ecotone: Taking Hohhot of Inner Mongolia as an example

DANG Hui, RONG Lihua, LI Yitong, ZHAO Mingjun

(School of Architecture, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010000, Inner Mongolia, China)

Abstract: The agropastoral ecotone is an important ecological security barrier and grain producing area in northern China. Elucidating the spatial evolution law and influencing factors of production-living-ecology spaces in the ecologically fragile areas for land space optimization and sustainable development is extremely important. In this study, the methods of land use dynamic degree, land transfer matrix, and geographical detector were used to explore the spatial evolution characteristics and influencing factors of production-living-ecological spaces in Hohhot, a typical farming-pastoral ecotone in Inner Mongolia, from 2000 to 2020. The results show that during the study period, the overall dynamic changes in the production-living-ecological space of Hohhot were gentle (0.02%−0.04%). The spaces for ecology, agricultural production, and animal husbandry decreased, while the spaces for life and other production increased. From 2000 to 2020, the spatial patterns for production-living-ecological in Hohhot changed significantly, and this was mainly manifested in the occupation of agricultural and animal husbandry production spaces by the living space outside the urban area, and the mutual transformation of agricultural production, animal husbandry, and ecological spaces in the Tumochuan Plain and its northern and southeastern hilly areas. During the study period, the mutual transformation of ecological, agricultural, and livestock production spaces was intense, but this decreased after 2010. Living spaces and other production spaces were in a state of net inflow, especially in the latter decades. The average slope is the dominant factor affecting the spatial layout of agricultural and animal husbandry production (0.24−0.4). Industrial development, human activities and agricultural production scales have a greater impact on the local spatial patterns. Based on refined governance, the role of policy guidance is increasingly prominent.

Keywords: production-living-ecological space; spatio-temporal evolution; influencing factors; farming-pastoral ecotone; Hohhot; Inner Mongolia